
**NORME
MAROCAINE**

**NM
10.1.003**

BETONS

**CLASSIFICATION DES ENVIRONNEMENTS
AGRESSIFS**

Ministère du Commerce et de l'Industrie

SNIMA

SOMMAIRE

	Page
1 OBJET.....	3
2 GENERALITES.....	3
3 NOMENCLATURE DES ENVIRONNEMENTS AGRESSIFS.....	4
4 CLASSIFICATION DES ENVIRONNEMENTS AGRESSIFS.....	4
5 MODE D'ACTION DES ENVIRONNEMENTS AGRESSIFS.....	7
6 RECOMMANDATIONS.....	11

Comité technique de normalisation du béton, mortiers, et produits dérivées
Avis du C.S.I.Q.P. du 17 décembre 1992
B.O. N° 4199 du 21 Avril 1993
Arrêté d'homologation n°479-93 du 13 Janvier 1993

1 OBJET

La présente norme marocaine a pour objet :

- de définir les environnements agressifs les plus courants vis à vis des bétons armés et bétons précontraints.
- de donner des recommandations pour la confection de bétons désistant aux environnements agressifs.

Elle fournit au praticien les informations de base pour le choix des mesures préventives. Cependant, des études particulières sont nécessaires dans certains cas pour adapter ces mesures aux conditions spécifiques de l'environnement.

2 GENERALITES

Le béton fabriqué conformément aux règles de l'art est un matériau normalement durable si ses qualités intrinsèques sont adaptés au milieu auquel il est exposé.

Les qualités intrinsèques d'un béton (compacité, perméabilité) qui conditionnent sa durabilité, sont en relation :

- avec sa composition : catégorie de ciment, dosage en ciment, teneur en éléments fins, rapport eau/ciment (E/C), composition de l'eau de gâchage, texture, courbe granulométrique et nature minéralogique des granulats, adjuvants.

- avec sa mise en œuvre : mise en place, compactage, cure, enrobage des armatures.

A l'agressivité des milieux définie au paragraphe 4, correspondent ici trois niveaux de protection du béton décrits dans le tableau 1.

TABLEAU 1 - NIVEAU DE PROTECTION

Niveaux de protection	Mesures de protection
Niveau 1	-Pas de mesures de protection particulières. -Béton confectionné suivant les règles de l'art.
Niveau 2	-Adaptation de la composition et de la mise en œuvre aux conditions du milieu.
Niveau 3	-Nécessité d'une protection externe (enduits, peintures) ou interne (imprégnation) pouvant dans certains cas s'ajouter aux prescriptions du niveau 2.

3 NOMENCLATURE DES ENVIRONNEMENTS AGRESSIFS

Trois catégories peuvent être distinguées :

- milieux gazeux : gaz, vapeur.
- milieux liquides : eaux douces, eaux de mer, solutions de sels, d'acides ou de bases, eaux résiduaires, liquides des organiques (huiles, pétrole, solvants).
- milieux solides : sols, produits de stockage. Ils agissent surtout par extraction ou dissolution, le plus souvent par l'eau, des agents nocifs.

L'agressivité du milieu dépend :

- de la concentration de l'agent agressif.
- de la viscosité (huiles).
- de l'humidité relative : l'atmosphère peut être : sèche ($H.R < 60 \%$) humide ($60 \% \leq H.R \leq 75 \%$) très humide ($H.R > 75 \%$) ou lorsqu'un condensat peut se former à la surface du béton). Le degré d'agressivité, notamment pour les gaz, augmente généralement avec l'humidité relative,
- de la température : une élévation de température accroît les vitesses de réaction. Toutefois, dans le cas de l'attaque par les sulfates, les dégradations sont plus importantes à basse température. Par ailleurs, les effets du gel peuvent s'ajouter à ceux de l'attaque chimique,
- de la pression (gaz, liquides),
- de la mobilité du milieu (gaz, solutions) qui facilite le renouvellement de l'agent agressif et les échanges, et qui peut induire un effet mécanique supplémentaire (courant, vagues),
- des cycles éventuels de température et d'humidité relative (variations journalières, saisonnières zones de marnage) qui augmentent considérablement les vitesses de dégradation,
- d'actions biologiques (micro-organismes, algues, bactéries).

La dégradation du béton en milieu agressif est aussi fonction de la durée d'exposition.

4 CLASSIFICATION DES ENVIRONNEMENTS AGRESSIFS

Quatre classes d'agressivité sont définies :

- environnements faiblement agressifs,
- moyennement agressifs,
- fortement agressifs,
- et très fortement agressifs,

Elles sont regroupées dans le tableau 2 qui donne en outre leurs symboles, les mesures de protection et les niveaux de protection correspondants.

TABLEAU 2 - DEFINITION DES CLASSES D'AGRESSIVITE

Environnement	Symbole	Mesures de protection	Niveau de protection
Faiblement agressif	A ₁	Pas de mesures particulières. Le béton fabriqué suivant les règles de l'art doit être compact par ses qualités intrinsèques.	1
Moyennement agressif	A ₂	Adaptation de la composition et de la mise en œuvre aux conditions du milieu (dosage en ciment, catégorie de ciment, E/C, cure, adjuvants).	2
Fortement agressif	A ₃	Adaptation de la composition et de la mise en œuvre aux conditions du milieu avec action spécifique sur la nautre et le dosage en ciment, le rapport E/C.	2
Très fortement agressif	A ₄	Nécessité d'une protection externe (enduits, peintures) ou interne (imprégnation).	3

Le tableau 3 donne le degré d'agressivité des solutions et des sols les plus courants.

TABLEAU 3 - AGRESSIVITE DE SOLUTIONS ET DE SOLS

a) agressivité des solutions en fonction de leur concentration en agents agressifs et de leur pH : eaux stagnantes ou à faible courant, climat tempéré, pression normale.				
Degré d'agressivité	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Agents agressifs	Concentration en mg/l			
CO ₂ agressif (*)	15 à 30	30 à 60	60 à 100	> 100
SO ₄ ⁻⁻⁻	250 à 600	600 à 1 500 (1)	1 500 à 6 000	> 6 000
Mg ⁻⁻⁻	100 à 300	300 à 1 500	1 500 à 3 000	> 3 000
NH ₄ ⁺	15 à 30	30 à 60	60 à 100	> 100
pH	6,5 à 5,5	5,5 à 4,5	4,5 à 4	< 4
(1) La limite est fixée à 3 000 mg/l pour l'eau de mer.				
b) Cas de l'eau douce.				
T.A.C. (**)	≤ 1 mé/l	—	—	—
c) Agressivité des sols en fonction de la teneur en SO ₄ ⁻⁻⁻ .				
% SO ₄ ⁻⁻⁻ dans le sol sec (***)	0,24 — 0,6	0,6 — 1,2	1,2 — 2,4	> 2,4
mg/l de SO ₄ ⁻⁻⁻ extrait du sol (****)	1 200 à 2 300	2 300 à 3 700	3 700 à 6 700	> 6 700
Niveau de protection	1	2	2	3
(*) CO ₂ agressif = excès de CO ₂ dissous par rapport au CO ₂ nécessaire au maintien en solution des hydrocarbonates de Ca et Mg. (**) T.A.C. titre alcalimétrique complet 1 mé = 5 degrés français = 2,8 degrés allemand. (***) Extraction par HCl à chaud. (****) Extraction par l'eau : rapport eau/sol = 2/1.				

Si plusieurs agents agressifs sont présents simultanément, la classe d'agressivité à prendre en compte est celle de l'agent dont la concentration ou le pH correspond au plus fort degré d'agressivité.

Si les agents agressifs sont en concentration inférieures à celles qui correspondent au degré faiblement agressif, l'environnement est considéré comme non agressif (A_0).

Exemple : a) Béton en immersion totale dans l'eau de mer : environnement moyennement agressif, niveau de protection 2 :

- ciment pour travaux à la mer,
- dosage en ciment $\geq 350 \text{ kg.m}^{-3}$ (granulat $D = 30 \text{ mm}$),
- $E/C \leq 0,55$.

b) Béton dans une solution sulfatée de concentration 4 000 mg/l : environnement fortement agressif, niveau de protection 2 :

- ciment résistant aux sulfates.
- dosage en ciment $\geq 350 \text{ kg.m}^{-3}$ (granulat $D = 30 \text{ mm}$).
- $E/C \leq 0,50$.

5 MODE D'ACTION DES ENVIRONNEMENTS AGRESSIFS

5.1 Liquides

5.1.1 Eaux douces

Les eaux pures ou très peu chargées peuvent dissoudre les constituants calcaires du béton. La dissolution est accélérée en présence d'ions Cl^- et de Na^+ et retardée par les ions Mg^{++} et Ca^{++} . Les eaux dont le titre alcalimétrique complet (TAC) est inférieur à 1 mé/l sont faiblement agressives.

5.1.2 Solutions acides

Les solutions acides sont caractérisées par le $\text{pH} < 7$. L'agressivité des acides minéraux ou organiques dépend de la solubilité des sels formés.

Les acides minéraux libres (HCl , HNO_3 , H_2SO_4) sont des acides forts ayant un effet dissolvant sur le ciment et les granulats calcaires. L'acide sulfurique H_2SO_4 est doublement agressif par son acidité et par la formation de sulfate qui donne naissance à des composés secondaires expansifs (ettringite).

Pour l'acide carbonique contenu dans certaines eaux, la valeur du pH ne constitue pas un critère suffisant et la concentration de l'anhydride carbonique agressif doit être mesurée séparément.

Les acides organiques libres, tels que les acides acétique, lactique, butyrique, formique contenus dans certaines eaux usées provenant des sucreries, papeteries, teintureries, conserveries, distilleries, tanneries laitières, etc... attaquent les constituants calcaires du ciment. Ils sont généralement moins agressifs que les acides minéraux et peuvent même former des couches protectrices dans le cas des acides oxaliques et tartriques par exemple. Toutefois, ces acides faibles peu dissociés peuvent être très agressifs vis-à-vis du béton malgré des pH peu inférieurs à 7 : leur neutralisation par des ions alcalins ou alcalino-terreux entraîne la permanence de la dissociation et par suite une importante émission cumulée d'ions H^+ .

Les acides humiques présentent moins de risques pour les bétons durcis. Mais, dans certains cas, ils peuvent échanger leurs ions H^+ contre des cations de sels neutres et former ainsi des acides libres qui sont surtout des acides minéraux. Ils sont susceptibles également de retarder ou d'inhiber la prise du ciment.

5.1.3 Solutions basiques

Les solutions basiques sont caractérisées par un $pH > 7$. Les ciments portland résistent généralement bien aux solutions basiques de concentration modérée (exemple $NaOH < 10\%$). Toutefois, des précautions (durcissement suffisant, imperméabilité) doivent être prises si le béton est en contact par l'une de ses faces avec la solution, l'autre face étant soumise à l'évaporation. Dans ce cas, l'accumulation des sels peut provoquer des dégradations même pour de faibles concentrations.

Les ciments avec ajouts résistent un peu moins bien à ces solutions que les ciments Portland. Les ciments alumineux sont détruits.

5.1.4 Les solutions salines

L'agressivité des solutions salines dépend des propriétés de produits formés (solubilité, expansion) qui sont en relation avec les types de cations et d'anions constitutifs de sels.

5.1.4.1 Cations

- **Magnésium** : (chlorure et sulfate) ils provoquent une réaction d'échange de base $Ca^{++} \rightleftharpoons Mg^{++}$ qui aboutit à la dissolution partielle des constituants calciques du ciment et à la formation de $Mg(OH)_2$.

- **Ammonium** : (chlorure, sulfate, nitrate) très nocifs, ils agissent également par échange de base.

5.1.4.2 Anions

- **Les sulfates** : ils réagissent avec les aluminates du ciment en donnant des composés expansifs : gypse $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ et ettringite $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$ dont la cristallisation peut provoquer la fissuration du béton.

- **Les nitrates** : excepté le nitrate d'ammonium fortement agressif par l'action combinée de son cation, la plupart des nitrates sont faiblement agressifs.

- **Les chlorures** : dans les bétons non armés, s'ils sont en forte quantité, ils peuvent être légèrement agressifs pour le ciment durci par l'influence qu'ils exercent sur la solubilité de ses constituants. Dans les bétons armés et précontraints, le chlore est capable de détruire la protection alcaline des armatures et de provoquer leur corrosion.

- **Les sulfures** : en présence d'air et d'humidité, leur oxydation peut conduire à la formation de sulfates. En milieu acide, il peut se former H_2S qui par oxydation, donne de l'acide sulfurique très agressif.

- **Les carbonates, phosphates, oxalates, fluorures** : ils forment avec la chaux des composés insolubles et n'attaquent pas le béton.

5.1.5 Cas particulier de l'eau de mer

Les dégradations du ciment par l'eau de mer sont dues essentiellement aux actions combinées des ions sulfates et des ions Mg^{++} telles qu'elles ont été décrites plus haut. La présence d'ions chlorures réduit notablement l'action des sulfates, mais agit sur les armatures.

Dans les climats froids, l'agressivité des sulfates est accrue. Elle diminue légèrement dans les climats chauds alors que l'intensité des autres attaques augmente.

En général, l'attaque par l'eau de mer des bétons armés est plus sévère dans les climats chauds.

L'eau de mer n'a qu'une action assez faible sur les bétons totalement immergés, les bétons qui ne sont pas en contact direct avec l'eau de mer mais qui sont soumis aux embruns peuvent subir de légères dégradations. Les attaques les plus sévères ont lieu dans les zones de marnage et les zones aspergées.

Aux actions chimiques de l'eau de mer peuvent s'ajouter l'action mécanique des vagues, l'effet du gel et les attaques biologiques.

5.1.6 Cas particulier des graisses et des huiles

Si elles sont exemptes d'acides, leur agressivité vis-à-vis du béton imperméable est négligeable, les réactions de saponification donnent des produits insolubles protecteurs.

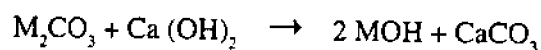
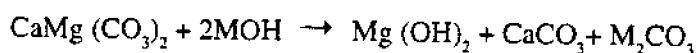
Leur action dépend de la température qui modifie leur viscosité et leur possibilité de pénétration.

Certaines huiles telles que les huiles de foie de morue, de baleine, de ricin, de noix de coco sont agressives et nécessitent une protection superficielle du béton.

5.1.7 Cas particulier d'une agression d'origine interne : la réaction alcalis-granulats

Les alcalins contenus dans la phase aqueuse interstitielle des bétons provenant soit du ciment, soit des granulats eux-mêmes, ou encore du milieu extérieur, sont susceptibles de réagir avec certains types de granulats et de compromettre la pérennité des ouvrages. Deux types de réactions peuvent se produire :

5.1.7.1 Réaction alcali-carbonate (dédolomitisation) avec les granulats dolommitiques, qui se traduit par la dissolution superficielle du granulat et la formation de $Mg(OH)_2$ avec régénération de l'hydroxyde alcalin suivant les équations.



avec $M = Li, Na, K$.

Ces réactions conduisent à la décohésion de l'interface pâte de ciment-granulat et à la fissuration du béton.

5.1.7.2 Réaction alcali-silice qui a lieu en présence de roches contenant des variétés de silice mal cristallisées (opales, calcédoine, schistes, gneiss, certains granits altérés, quartzites, etc...). Elle conduit à la formation d'un gel de silicate calco-alcalin expansif.

Les réactions alcalis-granulats sont en relation avec:

- la teneur en alcalins du ciment. Les limites suivantes encore controversées sont indiquées :
 - Na_2O équivalent ⁽¹⁾ $\leq 0,6 \%$ dans les ciments Portland,
 - Na_2O équivalent ⁽¹⁾ $\leq 0,9 \%$ dans les ciments au laitier (> 50 % laitier),
 - Na_2O équivalent ⁽¹⁾ $\leq 2 \%$ dans les ciments au laitier (> 65 % laitier).
- la nature des granulats : composition-texture-granularité, teneur en éléments réactifs (existence d'une teneur critique qui peut être de l'ordre de 3 à 5 % seulement).
- l'humidité relative : c'est un facteur essentiel. Les réactions alcalis-granulats ont lieu généralement dans des milieux d'humidité relative > 85 %.
- la température : aux environs de 40°C, les réactions sont très fortement accélérées.
- les cycles d'humidification-dissiccation (gel-dégel, zones de marnage, variations saisonnières), accélèrent les réactions.
- le temps : la fissuration du béton peut apparaître entre 5 et 40 ans.

Chaque fois que les conditions d'environnement (température, humidité relative) sont favorables à une réaction alcalis-granulats, un contrôle de la réactivité potentielle des granulats doit être effectué (analyse pétrographique, reconnaissance des minéraux potentiellement réactifs, tests tels que ceux prévus par les normes en vigueur).

Dans l'état actuel des connaissances, la mesure préventive la plus efficace est l'utilisation de ciments composés : ciments contenant 30 % de pouzzolane réactive, ciments renfermant au moins 65 % de laitier.

5.2 Gaz

Les gaz de combustion et les gaz rejetés par l'industrie peuvent contenir des acides minéraux libres, des acides organiques, de l'anhydride sulfureux, de l'acide sulfhydrique et de l'anhydride carbonique. Des solutions agressives peuvent se former lorsqu'on descend au-dessous du point de rosée. De plus les composants gazeux, non agressifs en eux-mêmes, peuvent se dissoudre dans l'eau (eau interstitielle du béton, eau de pluie, neige) et exercer une action nocive sur le béton: l'agressivité des gaz augmente fortement avec l'humidité relative du milieu (H.R. > 60 %).

5.2.1 Anhydride sulfureux SO_2 : son oxydation en présence d'humidité peut provoquer la formation d'acide sulfurique et de sulfates.

5.2.2 Acide sulfhydrique H_2S : se rencontre dans les eaux thermales sulfureuses et ferrugineuses et surtout dans les eaux usées (égouts), peut également donner lieu par oxydation à la formation d'acide sulfurique et de sulfates. Une teneur supérieure à 5 mg/l de H_2S est considérée comme agressive.

(1) Na_2O équivalent = $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$.

5.2.3 Anhydride carbonique CO_2 : la carbonatation du béton est favorisée lorsque le CO_2 est en présence d'humidité ($50 \% \leq \text{HR} \leq 70 \%$). Elle a pour effet d'augmenter la résistance chimique du béton.

Mais dans les bétons armés et précontraints, en présence d'humidité et d'oxygène, le CO_2 peut provoquer la dépassement et la corrosion des armatures insuffisamment enrobées.

5.3 Solides

Les sols contenant des sulfates présentent les mêmes risques d'agressivité que les eaux riches en sulfates: s'ils sont humides.

L'agressivité dépend de l'eau contenue dans le sol (niveau de la nappe, variation saisonnières, courant, prosité du sol), de la quantité et de la nature des sulfates qu'il renferme (le sulfate de calcium, peu soluble, est potentiellement moins dangereux que les sulfates de sodium et magnésium très solubles).

Les sols marécageux peuvent contenir de l'acide carbonique, des acides organiques (acides humiques).

Les décharges de déchets industriels, ordures ménagères, etc... peuvent renfermer des substances, déjà énumérées plus haut, susceptibles d'être entraînées par le seaux d'infiltration et d'attaquer le béton.

Les sols dont l'acidité mesurée suivant BAUMAN-GULLY est ≥ 20 sont faiblement agressifs (acidité BAUMAN-GULLY = nombre de cm^3 d'acide 0,1 N libéré par 100 g de sol lors du traitement avec 200 cm^3 d'une solution 0,1 N d'acétate de sodium neutre).

6 RECOMMANDATIONS

6.1 Recommandations générales

Les recommandations générales pour fabriquer un béton résistant des attaques chimiques sont résumées dans le tableau 4.

Il convient par ailleurs, d'attacher une attention particulière à la cure du béton avant son exposition au milieu agressif. La température et l'humidité relative pendant la confection sont les deux paramètres les plus importants conditionnant les performances à long terme du béton. Le risque d'évaporation excessive est maximum par temps chaud. Par temps froid le processus est moins rapide mais l'hydratation est également plus lente. Une cure insuffisante aura des conséquences néfastes sur la perméabilité, les résistances et la durabilité du béton.

L'eau de mer ne doit pas être utilisée comme eau de gâchage dans les bétons armés.

Dans la mesure du possible, les éléments de structures trop minces et les angles vifs doivent être évités.

La compacité et la perméabilité du béton sont en relation respectivement avec la teneur en éléments fin ($\leq 80 \mu\text{m}$) et leur réactivité.

TABLEAU 4 - RECOMMANDATIONS GENERALES

Niveau d'agressivité	A ₂	A ₃	A ₄	Remarques
Catégorie de ciment	Choix du ciment en fonction du type d'attaque (Voir chapitre 6 – Recommandations)			
Dosage minimal en ciment (kg . m ⁻³) (*)	550/ $\sqrt[5]{D}$ (*)	700/ $\sqrt[5]{D}$	700/ $\sqrt[5]{D}$ éventuellement	Fonction de la dimension maximale en mm des granulats.
E/C (**)	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,50 éventuellement	Tenir compte de l'absorption par les granulats.
Granulats	Granulométrie conforme aux règles de composition des bétons.			
Ouvrabilité du béton	Consistance compatible avec une bonne mise en place et conduisant à la compacité maximale du béton. Vibration, usage éventuel d'adjuvants.			Pas d'addition supplémentaire d'eau.
Enrobage des armatures (***)	≥ 30 mm	≥ 40 mm	≥ 40 mm	
Protection supplémentaire	non nécessaire		enduit, peinture revêtement, imprégnation.	

(*) Dans le cas du béton précontraint et de l'eau de mer, le dosage minimal est toujours 700/ $\sqrt[5]{D}$
(D = Dimension maximale des granulats en mm).

(**) Les valeurs de E/C données à titre indicatif ne sont pas indépendantes de la catégorie de ciment.

(***) Dépend aussi de la dimension des granulats et des règlements de calcul du projet.

6.2 Recommandations particulières

Les recommandations particulières concernant le choix du ciment en fonction de la nature et du degré d'agressivité sont données dans les tableau 5, 6 et 7 respectivement pour les milieux contenant des sulfates. L'eau de mer et les solutions acides.

**TABLEAU 5 - MILIEUX CONTENANT LES SULFATES (sols ou solutions)
RECOMMANDATIONS POUR LE CHOIX DU CIMENT**

Degré d'agressivité	Niveau de protection	Choix du ciment
A ₁	1	Pas de recommandations particulières.
A ₂	2	CPA prise mer, CPJ (laitier, cendres volantes, pouzzolanes) prise mer, CLC,CHF,CLK.
A ₃	2	CPA avec C ₃ A ≤ 5 %, CHF (*), CLK CPJ aux cendres volantes, laitier ou pouzzolanes (C ₃ A du clinker ≤ 5 %), Ciments alumineux. CLC (**).
A ₄	3	Idem A ₃ , éventuellement plus protection supplémentaire.
(*) Avec laitier ≥ 60 %. (**) Avec CaO du ciment ≤ 50 %.		

**TABLEAU 6 - EAU DE MER
RECOMMANDATIONS POUR LE CHOIX DU CIMENT**

EAU DE MER		
Conditions d'exposition	Immersion totale	Zones de marquage Zones aspergées
Degré d'agressivité	A ₂	A ₃
Choix du ciment	CPA avec C ₃ A ≤ 10% CPJ (clinker avec C ₃ A ≤ 10 %) CLK,CHF,CLC ciments alumineux	Ciments contenant du laitier CHF (*), CLK, CPA, avec C ₃ A ≤ 5 %, Ciments alumineux, CLC (**)
Niveau de protection	2	2
(*) Avec laitier ≥ 60 %. (**) Avec CaO du ciment ≤ 50 %.		

**TABLEAU 7 - MILIEU ACIDES
RECOMMANDATION POUR LE CHOIX DU CIMENT**

Degré d'agressivité	Niveau de protection	Choix du ciment
A ₁	1	CPA à teneur réduite en C ₃ S et C ₃ A, CPJ (au laitier, cendres, volantes, pouzzolanes).
A ₂	2	CPA à teneur réduite en C ₃ S et C ₃ A, CPJ (cendres, laitier, pouzzolanes) CLC, CHR, CLK.
A ₃	2	Ciments au laitier (avec laitier ≥ 60 % type CHF et CLK) ciments alumineux. CLC (avec CaO du ciment ≤ 50 %).
A ₄	3	Idem A ₃ éventuellement plus protection supplémentaire.

Le tableau 8 donne à titre indicatif les limites en chlore admissibles dans les bétons armés et non armés, compte-tenu des chlorures extérieurs qui pourraient diffuser dans un béton perméable.

**TABLEAU 8 - TENEURS LIMITES EN IONS CHLORE DANS LES
BETONS ARMES ET NON ARMES
(% de la masse de ciment)**

Type de béton	Concentration en chlore
Béton non armé	1 %
Béton armé	0,65 %
Béton armé précontraint par post-tension	0,2 %
Béton armé précontraint par pré-tension	0,1 %